



Outils d'aide à la décision pour le lissage de charges des plateformes logistiques

Susana Carrera, Marie-Claude Portmann, Wahiba Ramdane-Cherif

► To cite this version:

Susana Carrera, Marie-Claude Portmann, Wahiba Ramdane-Cherif. Outils d'aide à la décision pour le lissage de charges des plateformes logistiques. 8ème Congrès International de Génie Industriel - CIGI 2009, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes à Bagnères de Bigorre, Jun 2009, Tarbes, France. 8 p. inria-00464831

HAL Id: inria-00464831

<https://hal.inria.fr/inria-00464831>

Submitted on 18 Mar 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Outils d'aide à la décision pour le lissage de charges des plateformes logistiques

SUSANA CARRERA¹, MARIE-CLAUDE PORTMANN¹, WAHIBA RAMDANE CHERIF¹

¹INPL-LORIA UMR 7503, Ecole des Mines de Nancy, Parc de Saurupt, CS 14234, 54042 France Cedex

carrersu@loria.fr, portmann@loria.fr, ramdanec@loria.fr

Résumé : Cette étude propose d'inclure des contraintes réalistes peu prises en compte dans la littérature des plateformes logistiques, qui s'est fortement concentrée sur l'agencement des zones de stockage et les techniques de picking. L'objectif de notre travail est de concevoir des outils d'aide à la décision et des méthodes de résolution pour la planification et l'ordonnancement. Dans ce papier nous nous limitons à la partie planification. Nous proposons un modèle linéaire générique, pour lisser la charge de la plateforme et planifier la main d'oeuvre. Nous autorisons des modifications limitées (négociations) des dates d'arrivée et de départ des livraisons des fournisseurs et vers les clients. Il est possible d'embaucher du personnel additionnel et un nombre limité d'heures supplémentaires par catégorie de personnel peut être utilisé. Dans ce modèle, nous prenons en compte quelques unes des fonctions importantes d'un entrepôt, telles que des activités de groupage et/ou de dégroupage. Les analyses expérimentales de plusieurs configurations, pour des organisations des flux et du travail, nous permettent de comparer différents agencements de la plateforme et de mettre en évidence l'intérêt potentiel des négociations. Nous présentons des exemples numériques et une analyse détaillée des résultats.

Abstract : This study proposes to include realistic constraints poorly covered in the logistic platform literature, which has focused strongly on storage layout and order picking. The aim of our work is to design decision support system and solution methods for planning and scheduling levels. In this paper we present only the planning part. We propose integer linear programming models, as generic as possible, for smoothing the workload of the platform and planning the workforce. We authorize limited modifications (negotiations) of the arrival and departure dates of suppliers and customers deliveries. Additional workforce can be rented and a limited amount of work overtime per category can be used. In this model, we take into account some of the principal functions of a warehouse like unpacking and/or grouping operations. The experimental analyze of various layout, completed by flow and work organization, allows us to compare different platform organizations and to highlight the potential negotiation interest. We present numerical examples and detailed analysis of the results.

Mots-clés : programmation linéaire, planification, gestion des flux, lissage de charge, négociation de délais.

Keywords : linear programming, planning, flow management, workload smoothing, delay negotiation.

1 INTRODUCTION

Ce travail a été développé suite à un audit d'une plateforme logistique. Plus de deux millions de paires de chaussures traversent cette plateforme chaque année. La plateforme reçoit toutes les chaussures de la chaîne de distribution en provenance des fournisseurs ; elle en met en réserve environ 20% et envoie le reste vers 90 magasins. Les contenus et les dates de livraisons en provenance des fournisseurs sont négociés avec eux par l'entreprise de distribution. Par contre, elle organise et supervise l'organisation des tournées de livraisons vers ses magasins. Deux fois par an, saison été et saison hiver, les magasins reçoivent une première livraison des nouveaux produits, par la suite, ils recevront quelques compléments, pris sur la réserve ou retirés d'autres magasins, pour réassortir les pointures. L'outil de lissage de charge est principalement dédié aux deux périodes de pointes, s'étalant sur plusieurs semaines, qui correspondent aux premières livraisons des produits vers les magasins et qui nécessitent un nombre important de personnels intérimaires sur la plateforme. Les outils d'aide à la décision à concevoir s'intéressent aux niveaux tactiques et opérationnels : planification prévisionnelle à moyen terme et management des opérations à court terme (ordonnancements de tâches dans l'entrepôt, ainsi que tournées des véhi-

cules), et à faire la jonction entre ces deux niveaux. Dans cet article nous nous intéressons à la planification prévisionnelle pour des problèmes similaires de lissage de charge de plateformes à demande saisonnière.

La littérature associée à ce travail concerne l'optimisation de plateformes logistiques, mais aussi plus généralement l'optimisation de la gestion des flux à moyen terme. Dans notre recherche bibliographique sur les plateformes logistiques (voir [Chami, 2007]), nous avons trouvé de nombreux papiers sur la maximisation du débit des plateformes en fonction de leur agencement et de la manière de réaliser le picking pour préparer les expéditions (voir l'état de l'art de [Van Den Berg et Zijm, 1999] ainsi que [Chen et al., 2006], [Bartholdi et Gue, 2004], [Petersen et Aase, 2004] et le livre de [Mocellin, 2006]) mais nous n'avons rien trouvé sur le lissage de charges avec ou sans négociation des dates de livraisons en amont et en aval de la plateforme. Dans les articles sur la gestion des flux à moyen terme, nous avons trouvé de nombreux modèles de programmation linéaire (voir [Belvaux et Wosley, 2001] et [Billington et al., 1986]) afin de lisser les charges des postes de travail et quelques modèles incluant de la négociation ou de la coopération (voir [Dauzère et Lasserre, 1999] et [Ouzizi, 2005]). En ce qui concerne la littérature incluant des contraintes humaines et

sociales, elle se concentre principalement sur la gestion du personnel sous un ordonnancement d'activités préfixé (voir [Franchini et al., 2001], [Billionnet, 1999] et [Seçkiner, 2007]). A notre connaissance, il n'existe pas de modèles de programmation linéaire permettant de négocier des arrivées ou des départs de tournées de livraison associées à une plateforme logistique tout en considérant les ressources humaines, ce qui devient nécessaire lorsque plusieurs partenaires peuvent être concernés par des modifications de dates. La problématique que nous traitons dans cette étude n'a, apparemment, jamais été abordée sous cet angle. Le caractère "moyen terme" de ce type de décision nous a conduits tout naturellement à utiliser la programmation linéaire. Nous avons aussi souhaité construire un modèle suffisamment générique pour être appliqué à plusieurs types de structures de stockage ou d'éclatement, ceci afin de représenter les différentes contraintes liées à ces dernières et afin d'obtenir une solution générique de lissage de charge.

La suite du papier est structurée en cinq sections. La section 2 fait une description détaillée du problème, la section 3 présente les différentes contraintes industrielles qui doivent être intégrées dans le problème du lissage de charge et les critères à optimiser, elle propose aussi le modèle de programmation linéaire qui a été testé sur des données générées aléatoirement. La section 4 décrit les différentes configurations de plateforme testées, les expériences réalisées et les résultats obtenus. Pour finir, la section 5 donne les conclusions de notre travail et examine les extensions qui peuvent être encore apportées à notre modèle.

2 DESCRIPTION DU PROBLEME

La durée de l'horizon de temps que nous considérons correspond à la durée d'une des pointes de surcharge, c'est-à-dire entre 6 et 8 semaines. L'objectif est de gérer toutes les livraisons pendant cette période et de trouver une planification prévisionnelle pour les ressources. Les livraisons sont prévues à des dates et avec des quantités supposées idéales vers les magasins, en ce qui concerne notre problème industriel, ou correspondent à des commandes passées par les magasins à la plateforme dans le cas général (livraisons clients) et des produits arrivant à la plateforme à des dates connues et supposées idéales pour les livraisons fournisseurs. Chaque livraison peut tolérer un peu d'avance ou de retard, ce qui fournit une certaine flexibilité lors de la planification ; les avances et les retards par rapport aux dates idéales pénalisent les fournisseurs qui doivent modifier leurs préparations de commandes et les clients qui pourraient, par exemple, vendre certains produits plus tôt ; ils sont représentés ici par des coûts fictifs pour la plateforme qui sont calculés à partir d'un coût par unité d'avance ou de retard par rapport à la date idéale initialement prévue.

Selon la structure de la plateforme, différentes zones fonctionnelles et types de flux peuvent exister, voir [Heragu, 2005], nous distinguons cinq zones fonctionnelles et quatre types de flux (Figure 1).

La zone de réception correspond aux quais de déchargement où les camions provenant des livraisons fournisseur sont déchargés ; la zone de transit ou de "cross-docking" permet le passage direct des produits entre les camions de réception et ceux d'expédition ; la réserve est l'endroit où sont généralement stockés les produits dans leur conditionnement d'arrivée (en fait déballés en ce qui concerne notre application) lorsque leur expédition n'est pas immédiate ; la zone de picking rapide est toujours destinée à l'expédition immédiate, elle est généralement de taille réduite pour faciliter les opérations et contient les produits les plus demandés ou les produits préparés pour une expédition proche ;

enfin, la zone d'expédition correspond aux quais de chargement des camions.

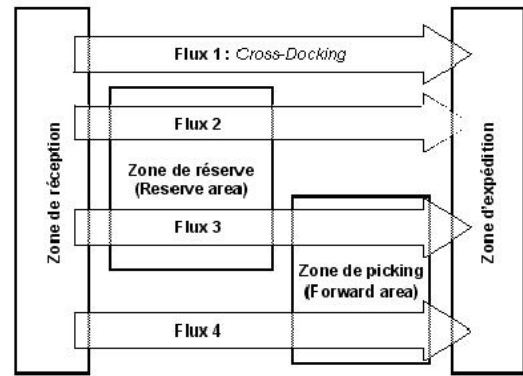


Figure 1. Différents Flux Présents dans un Entrepôt

Quant aux flux : le flux 1 ou cross-docking est utilisé lorsque les produits doivent passer peu de temps dans l'entrepôt et qu'il n'y a pas d'opérations de conditionnement ; le flux 2 achemine les produits de la réception à la réserve d'où ils ressortiront après une période assez longue hors de l'horizon du problème qui nous concerne ici ; pour le flux 3, les produits sont d'abord stockés dans la réserve (généralement sur des palettes), ils sont transférés (avec ou sans conditionnement) vers la zone de picking ultérieurement ; finalement, le flux 4 n'est qu'une variante du cross-docking, les produits reçus passent dans la zone de picking pour des opérations de groupage et de consolidation des ordres de livraison.

Notre modèle linéaire peut prendre en compte tous les types de flux. Pour le problème industriel considéré, nous avons environ 20% de flux 1, 80% de flux 3 dans l'organisation de la plateforme au moment de l'audit, car tous les produits passent par la réserve. Dans la nouvelle organisation de la plateforme, une grande partie du flux 3 doit devenir du flux 4 en augmentant la zone de travail du picking de manière à réexpédier le plus rapidement possible les produits qui arrivent aux périodes de pointe et à diminuer le nombre de manutentions des paires de chaussures.

Les principales ressources de la plateforme sont des ressources humaines. La plateforme a du personnel fixe, en CDI ou en CDD. Pour satisfaire la charge pendant les périodes de pointe, elle peut faire appel à du personnel intérimaire qui est embauché à la semaine et dont l'emploi du temps prévisionnel est programmé (hors de notre modèle) pour rendre disponible du personnel supplémentaire à chaque période. Le personnel est classé en catégories selon leur efficacité et leur habilité, chaque catégorie peut effectuer un nombre maximal d'heures supplémentaires par période à un coût supérieur à celui d'une heure de travail normal.

Les familles de produits contiennent des produits simples et des produits composés qui peuvent être le résultat d'une opération de groupage ou qui correspondent à des produits à dégroupier. Les activités de groupage, dégroupage et de transformation sont différenciées dans la modélisation. Pour certaines activités on peut souhaiter que du personnel expert passe au moins un pourcentage de temps sur l'activité à chaque période. Des durées minimales de traitement des produits sur chaque activité sont données, ces durées correspondent aux temps qu'un expert (le personnel le plus compétent) met pour exécuter chaque tâche sur chaque famille de produits, ensuite pour calculer le temps que

les autres catégories de personnel nécessitent, nous avons introduit des matrices d'efficience (< 1), par activité, par famille de produit et par catégorie.

3 MODELE DE PROGRAMMATION LINEAIRE

3.1 Modélisation des activités d'un entrepôt

Comme dans toute gestion de flux à moyen terme, nous distinguons deux types principaux d'entités dans notre modélisation : les zones de stockage et les activités qui déplacent des produits d'une zone de stockage vers une autre zone de stockage en apportant éventuellement une valeur ajoutée aux produits déplacés, comme contrôles, déballages, regroupements... Nous avons considéré ici qu'une livraison fournisseur était assimilable à une activité qui dispose d'un stock (sur le camion à son arrivée) virtuellement disponible pour l'activité de déchargement. Il en est de même de manière symétrique pour les livraisons aux clients. Nous supposons également que le pourcentage de produits du flux 3 (Figure 1) qui doit être envoyé en réserve (et qui ne sortira de la réserve qu'après l'horizon de notre modèle) est aspiré par la réserve par une activité de type "réserve" à exécuter avant la fin de l'horizon. En travaillant à moyen terme, nous sommes également obligés de choisir une unité de temps dont la longueur est notée ici Δ (selon la granularité de la précision du modèle souhaité par les décideurs, Δ pourra être égal à une heure ou une demi-journée ou même une journée (voir [Belvaux et Wosley, 2001])), ainsi qu'un horizon H correspondant à un nombre entier de périodes de durée Δ . Nous supposons Δ suffisamment petit pour ne pas avoir à modéliser avec précision les variations des stocks à l'intérieur d'une période. Si ce n'était pas le cas, nous devrions surestimer les besoins en capacité de stockage.

3.2 Contraintes et critères industriels

Les ressources de la plateforme sont essentiellement des ressources humaines, il est nécessaire de tenir compte des compétences (problèmes de polyvalence et d'efficience) ce qui conduit à concevoir des catégories de personnels que l'on peut considérer comme approximativement équivalents en ce qui concerne ce qu'ils savent faire et à quelle vitesse.

Pour ce niveau de modélisation, on peut utiliser des familles de produits sans distinguer les pointures (familles de produits qui sont appelées ici produits pour simplifier). La quantité correspondant à un colis arrivant dans un camion ou partant dans un camion est exprimée en nombre de produits et non en nombre de palettes ou de colis sauf si on introduit des regroupements. La connaissance de la taille et du poids des colis associés à chaque produit permet de connaître la durée opératoire des activités de chargement ou de déchargement ou encore de déballage en fonction du nombre de produits.

La capacité des zones de stockage est supposée limitée.

Le nombre de périodes d'avance ou de retard toléré pour les réceptions et les livraisons, ainsi que les pénalités réelles ou virtuelles associées, correspondant à des tournées fournisseurs ou magasins, qui sont globalement déplacées, sont supposées connues (en fait calculées par un prétraitement).

Les compétences et le niveau de polyvalence du personnel sont pris en considération et selon la granularité du modèle les regroupements par compétences identiques sont plus ou moins importants (voire une seule personne par catégorie).

Les caractéristiques ci-dessus ont déjà été prises en compte dans [Carrera et al., 2008]. Dans ce papier, de nouvelles contraintes ont été ajoutées pour modéliser encore plus de situations courantes dans les plateformes logistiques :

– présence d'opérations de groupement et de dégroupement,

- heures supplémentaires par catégorie de personnel,
- niveau de présence minimale d'un expert par activité,
- éclatement des flux.

Pour l'éclatement des flux, nous présentons deux possibilités. La première consiste à insérer dans le modèle des contraintes d'éclatement des flux qui obligent les pourcentages souhaités des produits à aller aux zones que l'on souhaite (20% à la réserve et 80% à la zone de chargement, par exemple) sur l'ensemble de l'horizon de temps, ces contraintes sont normalement en redondance avec la génération des commandes des clients qui prend en compte ces pourcentages et assure ainsi l'équilibre des flux. La deuxième possibilité est d'insérer des contraintes d'aspiration par les stocks, c'est-à-dire que l'on oblige certains stocks à être zéro aux moments souhaités et notamment à la fin de l'horizon de temps, ceci assure que tous les produits restant dans la plateforme se retrouveront uniquement dans la réserve à la fin de l'étude.

3.3 Formulation du programme linéaire

Nous définissons les différentes données, contraintes et critères et terminons par des commentaires pour mieux expliquer les contraintes.

3.3.1 Notations et définitions

Le modèle contient de nombreux paramètres. Dans la mesure du possible, nous avons choisi la première lettre de leur nom comme caractéristique de famille de paramètres. Les paramètres principaux sont : l'horizon temporel H , la durée d'une période Δ donnée en heures (Δ serait plus petit au niveau de l'ordonancement). Pour chaque famille d'indices nous définissons un indice courant et un ensemble de définition de ces indices, ils sont notés : pour le temps $t \in NT$; pour les zones de stockage : $z \in NZ$; pour les catégories de personnel : $w \in NW$; pour les familles de produits $p \in NP$; pour les opérations de groupage : $o \in NOG$; pour les opérations de dégroupement : $o \in NOD$; pour les opérations de transformation (contrôle, déplacement ou production de manière générale) : $o \in NOT$.

$NO = NOG \cup NOD \cup NOT$ est l'ensemble des indices de toutes les opérations, OC et OD sont des sous-ensembles de NO ils représentent les ensembles d'indices des opérations de chargement et de déchargement des camions respectivement, dans le modèle présenté ici ces ensembles ont un seul élément car nous considérons un seul quai de chargement et un seul de déchargement. Pour les livraisons fournisseurs : $\ell \in NLF$ et pour les livraisons clients : $\ell \in NLC$. $NL = NLF \cup NLC$ est l'ensemble des indices des livraisons. $NA = NO \cup NL$ correspond à toutes les activités sur la plateforme. Toute activité modifie l'état de stocks.

Nous présentons maintenant des paramètres groupés par grandes familles.

En ce qui concerne les indices et les familles d'indices liées aux nomenclatures des produits, ils sont notés : $p \in Pg(o)$ pour les produits qui sont groupés par l'opération o ; $p \in Pd(o)$ pour les produits obtenus par l'opération de dégroupage o , on appelle PC l'union des indices de tous les produits composés ; pour chaque $p \in Pg(o)$ avec $o \in NOG$ on note $G_{o,p}$ l'ensemble des produits nécessaires pour assembler p par o , de même $D_{o,p}$ est l'ensemble des indices des produits obtenus par l'opération de dégroupement $o \in NOD$ sur le produit p . Deux matrices fournissent les facteurs de répétition associés à ces nomenclatures. Les matrices γ_{o,p,p_i} et δ_{o,p,p_i} représentent respectivement les quantités de produit p_i utilisées par l'opération de groupement o pour obtenir le produit p ou de produit p_i obtenus par

l'opération o de dégroupement d'un produit p .

Dans ce papier, nous supposons que les quantités de produits associées à chaque livraison fournisseur et/ou client ont déjà été négociées et ne sont plus modifiables. Ces quantités sont notées $QP_{\ell,p}$ pour la quantité de produit p contenue dans la livraison ℓ . Les dates de livraison sont négociables sur des intervalles. La date souhaitée de la livraison ℓ est notée TS_{ℓ} , les valeurs maximales autorisées pour l'avance et le retard de la livraison ℓ sont données par $MAXA_{\ell}$ et $MAXR_{\ell}$ respectivement. A chaque livraison ℓ on associe des pénalités d'avance CAD_{ℓ} et de retard CRD_{ℓ} par unité de temps Δ .

En ce qui concerne les paramètres associés aux produits et à leurs zones de stockage, VP_p est le volume d'une unité de produit p . VZ_z représente la capacité en volume de la zone de stockage z , $SI_{p,z}$ est le stock initial de produit p dans la zone de stockage z (ce stock est donné en unités de chaque produit). Nous utilisons une matrice pour définir les liens entre les opérations et la variation des contenus des zones de stockage, cette matrice $LZE_{a,z}$ indique si l'activité $a \in NA$ augmente (ou diminue) le stock z (0 s'il n'y a pas de rapport entre a et le stock z , 1 s'il augmente et -1 s'il diminue avec a). Nous présentons maintenant les deux façons d'assurer l'éclatement des flux, les paramètres liés sont les suivants. $nd(z)$ est le nombre de destinations possibles depuis la zone z à l'intérieur de la plateforme, ces destinations sont données par l'ensemble $Zd(z)$ lorsque $nd(z) > 1$, le pourcentage de produit passant par z et se dirigeant vers $z' \in Zd(z)$ est $Per_{z,z'}$; $O_{z,z'}$ donne l'ensemble d'opérations qui font passer des produits entre z et z' . La deuxième possibilité demande la définition de TZ_z comme l'indice de temps avant lequel les stocks de la zone z doivent être mis et maintenus à zéro. Toutes les zones de stockage ne sont pas mises à zéro, SZ est l'ensemble d'indices des zones de stockage qu'il faut absolument vider au plus tard à la fin de l'horizon.

Les paramètres concernant les familles de personnel : $E_{w,o,p}$, donne l'efficacité du personnel de catégorie w pour effectuer l'opération o sur le produit p ; PES_o est le pourcentage de temps passé par un expert sur l'opération p et demandé par période de temps par le décideur; le nombre planifié de personnel permanent de catégorie w pour la période t est donné par $NORMnrh_{w,t}$, le nombre maximal de personnel permanent et intérimaire que l'on peut rendre disponible à la période t $MAXnrh_{w,t}$, $MAXTW\Delta$ est le temps maximal de travail pendant une période (payé au salaire normal), $HSD_{w,t}$ est la quantité maximale de temps supplémentaire (en heures) que le personnel de catégorie w peut faire à la période t ; $CUnrh_w$ et $CUHS_w$ sont les coûts d'embauche d'un intérim de catégorie w pendant une période et le coût d'une unité de temps supplémentaire effectuée par un employé de la catégorie w .

$TU_{o,p}$ donne la durée minimale de traitement d'une unité de produit p pour l'opération o , cette durée est 0 si le produit n'est pas traité par l'opération (les opérations dans une plateforme logistique sont surtout déchargement, déplacement, déballage, contrôle, stockage, collecte (picking), rangement (packing), préparation, groupement, dégroupement, chargement; presque toutes font appel à des ressources humaines pour leur exécution). M est un nombre très grand représentant $+\infty$.

3.3.2 Variables de décision et d'état

Les variables de décision : $Q_{a,p,t}$ quantité de produit p traitée par l'activité a pendant la période t ; $TW_{w,o,p,t}$ le temps (exprimé en heures) que passe le personnel de catégorie w sur l'opération o et le produit p pendant la période de temps t ; la variable $Decal_{\ell,t}$ est un booléen qui vaut 1 si la livraison arrive en t

et 0 sinon; $nrh_{w,t}$ donne le nombre d'employés de catégorie w à la plateforme pendant la période t ; finalement la variable $HS_{w,t}$ est la quantité de temps supplémentaire (en heures) que les employés de la catégorie w font en t . Les variables d'état sont des variables auxiliaires de calcul qui nous permettent de connaître l'état interne de la plateforme à chaque période, elles sont : $S_{z,p,t}$ le stock de produit p dans la zone z en fin de période t ; Ch_t la charge de travail de la plateforme pendant la période t ; $MoyCh$ est la charge de travail moyenne sur l'horizon temporel; $MaxCh_t$ écart entre la charge moyenne et la charge en t lorsque cet écart est positif et $MinCh_t$ lorsque cet écart est négatif; la date réelle de la livraison ℓ est T_{ℓ} , le nombre de périodes d'avance et de retard d'une livraison par rapport à sa date prévue est AV_{ℓ} et RT_{ℓ} respectivement.

3.3.3 Contraintes

Bornes sur les variables :

$$\begin{aligned} \forall a, \forall t, \forall p \quad Q_{a,p,t} &\geq 0 & (1) \\ \forall o \in NOD, \forall p \notin Pd(o) \cup_{p' \in Pd(o)} D_{o,p'}, \forall t \quad Q_{a,p,t} &= 0 & (2) \\ \forall o \in NOG, \forall p \notin Pg(o) \cup_{p' \in Pg(o)} G_{o,p'}, \forall t \quad Q_{a,p,t} &= 0 & (3) \\ \forall w, \forall o, \forall p, \forall t \quad TW_{w,o,p,t} &\geq 0 & (4) \\ \forall z, \forall p, \forall t \quad S_{z,p,t} &\geq 0 & (5) \\ \forall \ell \quad 0 \leq T_{\ell} &\leq nt & (6) \\ \forall w, \forall t \quad NORMnrh_{w,t} \leq nrh_{w,t} &\leq MAXnrh_{w,t} & (7) \\ \forall w, \forall t \quad 0 \leq HS_{w,t} &\leq HSD_{w,t} & (8) \\ \forall t \quad MaxCh_t &\geq 0 & (9) \\ \forall t \quad MinCh_t &\geq 0 & (10) \\ \forall \ell \quad 0 \leq AV_{\ell} &\leq MAXA_{\ell} & (11) \\ \forall \ell \quad 0 \leq RT_{\ell} &\leq MAXR_{\ell} & (12) \end{aligned}$$

Variation des stocks et contraintes de capacité :

$$\forall z \in NZ, \forall p \in NP \quad S_{z,p,0} = SI_{z,p} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \forall z \in NZ, \forall p \in PC, \forall t \in NT \\ S_{z,p,t} = S_{z,p,t-1} + \sum_{\ell} LZE_{\ell,z} Q_{\ell,p,t} \\ + \sum_{o \in NOT} LZE_{o,z} Q_{o,p,t} \\ + \sum_{o \in NOD: LZE_{o,z} = -1} LZE_{o,z} Q_{o,p,t} \\ + \sum_{o \in NOG: LZE_{o,z} = 1} LZE_{o,z} Q_{o,p,t} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \forall z \in NZ, \forall p \in NP \setminus PC, \forall t \in NT \\ S_{z,p,t} = S_{z,p,t-1} + \sum_{\ell} LZE_{\ell,z} Q_{\ell,p,t} \\ + \sum_{o \in NOT} LZE_{o,z} Q_{o,p,t} \\ + \sum_{o \in NOD: LZE_{o,z} = 1} LZE_{o,z} Q_{o,p,t} \\ + \sum_{o \in NOG: LZE_{o,z} = -1} LZE_{o,z} Q_{o,p,t} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\forall z, \forall t \quad \sum_{p \in NP} S_{z,p,t} \times VP_p \leq VZ_z \quad (16)$$

Avances et retards sur les livraisons :

$$\forall \ell \quad \sum_{t \in NT} Decal_{\ell,t} = 1 \quad (17)$$

$$T_{\ell} = \sum_{t \in NT} t \times Decal_{\ell,t} \quad (18)$$

$$AV_{\ell} \geq TS_{\ell} - T_{\ell}, RT_{\ell} \geq T_{\ell} - TS_{\ell} \quad (19,20)$$

Liaison entre les livraisons prévues et les flux manipulés :

$$\forall p, \forall \ell, \forall t \quad Q_{\ell,p,t} = QP_{\ell,p} \times Decal_{\ell,t} \quad (21)$$

$$\forall p, \forall t \quad \sum_{o \in OD} Q_{o,p,t} = \sum_{\ell \in NLF} QP_{\ell,p} \times Decal_{\ell,t} \quad (22)$$

$$\forall p, \forall t \quad \sum_{o \in OC} Q_{o,p,t} = \sum_{\ell \in NLC} QP_{\ell,p} \times Decal_{\ell,t} \quad (23)$$

Satisfaction de la charge :

$$\forall o, \forall t, \forall p \quad TU_{o,p} * Q_{o,p,t} = \sum_{w: E_{w,o,p} \neq 0} TW_{w,o,p,t} * E_{w,o,p} \quad (24)$$

$$\forall w, \forall t \quad \sum_o \sum_p TW_{w,o,p,t} \leq nrh_{w,t} * MAXTW\Delta + HS_{w,t} \quad (25)$$

Contraintes liées aux compétences du personnel :

$$\forall w, \forall o, \forall t, \forall p \quad TW_{w,o,p,t} \leq E_{w,o,p} * M \quad (26)$$

$$\forall o, \forall t \quad \sum_p TW_{w',o,p,t} \geq \frac{PES_o}{100} \sum_w \sum_p TW_{w,o,p,t} \quad (27)$$

Ici $w' \in \text{argmax}_{w \in NW} E_{w,o,p}$

Calcul de la charge :

$$\forall t \quad Ch_t = \sum_w \sum_o \sum_p TW_{w,o,p,t} \quad (28)$$

$$MoyCh = \frac{1}{nt} \sum_{t \in NT} Ch_t \quad (29)$$

$$MaxCh_t \geq Ch_t - MoyCh \quad (30)$$

$$MinCh_t \geq MoyCh - Ch_t \quad (31)$$

Contraintes liées à l'éclatement des flux :

- Première possibilité :

$$\forall p \in NP \setminus PC, \forall z \in NZ : nd(z) > 1, \forall z' \in Z_d(z)$$

$$\sum_t \sum_{o \in K_1} Q_{o,p,t} = \frac{Per_{z,z'}}{100} \sum_t \sum_{o' \in NOTG: LZE_{o',z} = -1} Q_{o',p,t} \quad (32)$$

$$(K_1 = O_{z,z'} \cap (NOT \cup NOG), NOTG = NOT \cup NOG)$$

$$\forall p \in PC, \forall z \in NZ : nd(z) > 1, \forall z' \in Z_d(z)$$

$$\sum_t \sum_{o \in K_2} Q_{o,p,t} = \frac{Per_{z,z'}}{100} \sum_t \sum_{o' \in NOTD: LZE_{o',z} = -1} Q_{o',p,t} \quad (33)$$

$$(K_2 = O_{z,z'} \cap (NOT \cup NOD), NOTD = NOT \cup NOD)$$

- Deuxième possibilité :

$$\forall z \in SZ, \forall t \geq TZ_z, \forall p \quad S_{z,p,t} = 0 \quad (32')$$

Contraintes liées aux nomenclatures :

$$\forall o \in NOD, \forall p \in Pd(o), \forall p' \in D_{o,p}, \forall t \quad Q_{o,p',t} = \sum_{p_i \in Pd(o)} \delta_{o,p_i,p'} \times Q_{o,p_i,t} \quad (34)$$

$$\forall o \in NOG, \forall p \in Pg(o), \forall p' \in G_{o,p}, \forall t \quad Q_{o,p',t} = \sum_{p_i \in Pg(o)} \gamma_{o,p_i,p'} \times Q_{o,p_i,t} \quad (35)$$

3.3.4 Critères

Nous avons dégagé quatre indicateurs : l'étalement de la charge, les pénalités d'avance et de retard pour les livraisons, le nombre de personnels intérimaires et le coût des heures supplémentaires. Ces indicateurs sont pondérés dans la fonction objectif par les paramètres α , β , κ et λ car dans la résolution effectuée on choisit de les agréger pour se ramener à un seul critère.

Etalement de la charge :

$$\sum_t (MaxCh_t + MinCh_t)$$

Pénalités de décalage des dates de livraison :

$$\sum_\ell (AV_\ell \times CA\Delta_\ell) + (RT_\ell \times CR\Delta_\ell)$$

Personnel d'intérimaire :

$$\sum_t \sum_w (nrh_{w,t} - NORMnrh_{w,t}) \times CUnrh_w$$

Heures supplémentaires utilisées : le temps supplémentaire disponible peut ne pas être utilisé dans sa totalité, mais celui utilisé a un coût supérieur à celui d'une heure de travail normal, son coût total est l'un des critères à minimiser.

$$\sum_t \sum_w HS_{w,t} \times CUHS_w$$

3.3.5 Compléments d'explication liées aux contraintes

Les contraintes (1, 3, 4, 5, 9, 10) sont des contraintes de positivité des variables ; les contraintes (2) et (3) indiquent que seulement les produits à grouper ou à dégroupier et ses composantes

sont traités par une opération de groupement ou de dégroupement. La contrainte (6) établit que les dates de livraisons doivent être à l'intérieur de l'horizon temporel ; (7) dit que le nombre de personnes par catégorie doit être compris entre le nombre de permanents et le nombre maximum autorisé (incluant les intérimaires) ; la contrainte (8) exprime que la quantité d'heures supplémentaires par catégorie et par période est au plus la quantité autorisée ; les contraintes (11) et (12) empêchent d'avancer ou retarder une livraison plus que du nombre de périodes toléré qui lui est associé.

La contrainte (13) est une contrainte d'initialisation des stocks au début de l'horizon de temps. Les contraintes (14, 15) sont des contraintes d'équilibrage de flux pour les produits composés *PC* et pour les produits simples respectivement, le stock relatif à un type de produit et une zone de stockage, à la fin d'une période donnée, est égal au stock à la fin de la période précédente plus (ou moins) les quantités traitées par les opérations qui modifient ce stock ; la contrainte (16) impose le non dépassement de la capacité d'une zone de stockage.

La contrainte (17) dit qu'une livraison est entièrement décalée à une seule date ; pour chaque livraison ℓ , la contrainte (18) calcule la date de livraison réelle ; (19) et (20) calculent les avances et les retards effectifs d'une livraison par rapport à sa date souhaitée.

L'ensemble (21) fait le lien entre les livraisons prévues et les flux manipulés ; (22) et (23) expliquent que les camions des livraisons se chargent et se déchargent en une période ; (24) dit que la somme du temps utile passé par toutes les catégories sur une opération doit être supérieure ou égale à la charge de travail pour cette opération à la période t pour le produit p . La contrainte (25) est une façon simple de gérer les heures supplémentaires par catégorie de personnel, elle dit que pour quelque soit la catégorie et la période de temps, la charge de travail doit être inférieure ou égale au nombre de personnes présentes qui travailleraient un maximum de temps plus les heures supplémentaires que le personnel fixe (de cette catégorie) de la plateforme fait. Si l'efficacité d'une catégorie de personnel est nulle pour une opération, la contrainte (26) empêche d'affecter cette catégorie à l'opération en question ; (27) (facultative) fait que le temps que le personnel expert passe sur une opération soit au moins égal à un pourcentage (souhaité) du temps total passé sur cet opération par le personnel de la plateforme par période. L'éclatement de flux se produit lorsque les produits peuvent suivre des parcours différents à l'intérieur de la plateforme logistique. Par exemple : une fois les produits déchargés des camions, ils peuvent être acheminés directement vers la zone de chargement (crossdocking), seulement un pourcentage de la totalité des produits sur l'horizon de temps suit ce chemin ; ou alors les produits peuvent être mis directement dans la réserve, le pourcentage restant y va. Les contraintes d'éclatement des flux disent que la totalité de produits sortant de z et arrivant à z' sur tout l'horizon de temps est égale au pourcentage établi. On ne vérifie pas l'éclatement à chaque période mais à la fin de l'horizon temporel. Ces contraintes sont (32) et (33) dans le modèle, il y en a une pour les produits de *PC* et pour les produits simples. La contrainte (32') correspond à la deuxième possibilité pour assurer l'éclatement des flux, elle dit que les stocks dans les zones $z \in SZ$ doivent être zéro après l'instant TZ_z .

Finalement, les contraintes de nomenclatures (34) et (35) qui calculent les quantités de produits simples traités par une opération de groupage ou de dégroupage selon les quantités de produit à grouper ou à dégroupier qui y passent.

4 EXPERIMENTATIONS ET RESULTATS

4.1 Agencements de plateforme testés

4.1.1 Première configuration

La première configuration (Figure 2) testée est une plateforme où les livraisons arrivent dans les camions, les produits sont mis dans la zone de déchargement et le seul type de flux possible est le "crossdocking" (correspondant au flux 1 de la Figure 1). Ainsi les produits ne font que passer par la plateforme vers la zone de chargement, sont chargés dans les camions pour être livrés aux clients.

Evidemment, dans cet agencement de plateforme il n'y a pas d'éclatement des flux et seulement des opérations de transformation, les négociations se font sur les dates des livraisons et il est possible d'embaucher de la main d'oeuvre supplémentaire.

4.1.2 Deuxième configuration

Le deuxième agencement (Figure 3) testé considère une plateforme dans laquelle une fois les camions arrivés et déchargés, deux possibilités se présentent : faire du "crossdocking" ou envoyer les produits dans la réserve de capacité illimitée, flux 1 et 2 respectivement (Figure 1).

Dans ce cas de figure, les contraintes d'éclatement des flux s'avèrent nécessaires, on compte toujours que des opérations de transformation, les négociations se font sur les dates des livraisons et il est possible d'embaucher de la main d'oeuvre supplémentaire.

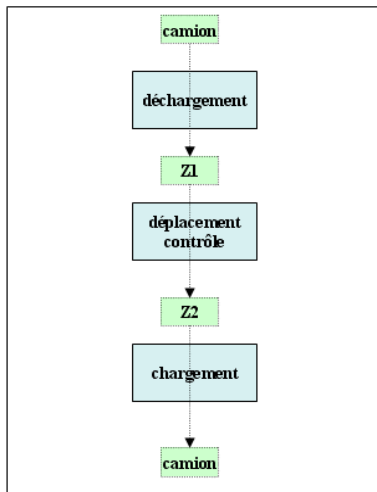


Figure 2. Configuration 1 de Plateforme

4.1.3 Troisième configuration

Il s'agit de la configuration présentée dans la Figure 4, ici en plus des deux possibilités d'éclatement des flux déjà vues, il y a la possibilité d'aller à une zone de réserve de capacité limitée ou illimitée. La principale particularité de cette configuration est la présence d'opérations de groupage et dégroupage (en rouge dans la Figure 4) et donc de produits composés qui changeront de forme dans la plateforme. En plus des contraintes d'éclatement des flux, les contraintes des nomenclatures sont ajoutées au modèle.

4.2 Génération des énoncés et tests effectués

Les données ont été générées de manière aléatoire (générateur aléatoire créé en C++) avec différentes valeurs des paramètres. Le tableau 1 présente : le code de chaque famille d'énoncés, le

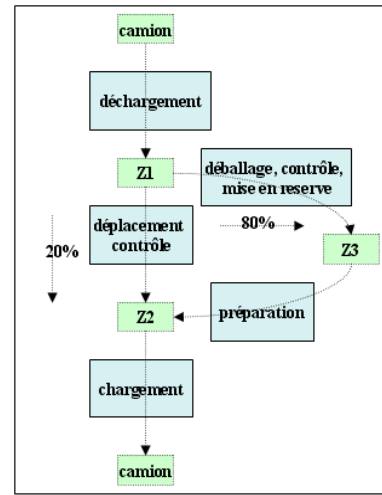


Figure 3. Configuration 2 de Plateforme

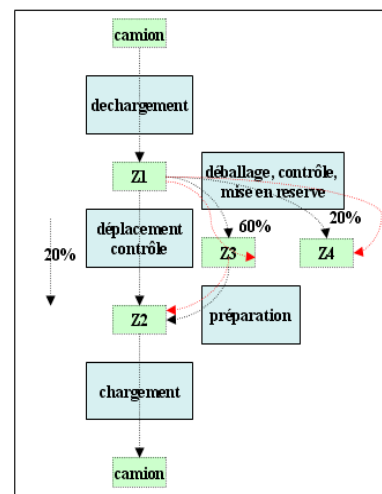


Figure 4. Configuration 3 de Plateforme

numéro de la configuration de plateforme considérée, la valeur de Δ et le nombre d'instances dans la famille.

Tableau 1. Jeux de Données Considérés

Nom du groupe	Agencement plateforme	Δ (journées)	Nombre d'instances
C1	1	1 ou 1/2	10
C2	2	1 ou 1/2	18
C3	3	1 ou 1/2	16

D'autres paramètres ont été fixés pour tous les jeux de données générés, le nombre de familles de produits est compris entre 6 et 9, les catégories de personnel sont 6 ou 9, et l'horizon temporel est de 6 semaines.

Dans un premier temps, les données sont générées de façon homogène (uniformément sur un intervalle réel donné pour la plupart d'entre elles ; les caractéristiques des produits, les durées de traitement et les efficacités en sont des exemples). Ensuite, nous effectuons un post-traitement pour les rendre toutes hétérogènes, ce qui est le cas des familles de produits et des données qui en dépendent. Pour le cas de la troisième configuration, quand il y a des opérations de groupage et de dégroupage, des produits à grouper ou dégroupier sont créés aussi lors de ce post-traitement

de données. Notre générateur crée des familles de données cohérentes pour les caractéristiques des familles des produits, les temps d'exécution, les efficacités du personnel, etc., le générateur assure aussi l'équilibre des flux dans la plateforme ainsi que le pourcentage des flux que l'on attire à la réserve sur l'horizon de temps.

Les catégories de personnel peuvent être 6 ou 9 selon que l'on prend en compte en plus du niveau d'expertise, la force et l'astuce respectivement. Les livraisons des fournisseurs se font principalement dans la première partie de l'horizon de temps H , tandis que celles aux clients se font pendant tout l'horizon.

Le modèle a été mis en oeuvre en C++ et la résolution des problèmes proposés fait appel à l'outil d'optimisation linéaire CPLEX. Pour les configurations 2 et 3, le temps de calcul est limité à 500 secondes, parce que l'on a constaté qu'au delà de ce temps le solveur n'améliore plus la meilleure solution et est en train de chercher à prouver qu'elle est optimale (probablement proche de l'optimum).

Comme notre objectif est de fournir un outil de lissage de charge, nous présentons d'abord les résultats, en termes économiques, afin de comparer les lissage de charge sans et avec négociations. Notre modèle a été testé sur chaque instance avec six modes de gestion différents selon le nombre de périodes de négociation d'avance et de retard autorisés 0, 1 ou 2 et si l'on autorise ou non l'utilisation des heures supplémentaires (colonnes 2 et 3 dans le tableau de résultats).

4.3 Résultats

Les premières expérimentations nous ont montré que vouloir étaler la charge est pénalisant pour les autres critères qui mesurent effectivement les intérêts de l'entreprise et de ses partenaires. Si on a une certaine connaissance préalable des variations de la charge on peut, en particulier, utiliser des emplois du temps dynamiques afin d'avoir plus de personnes ou d'heures supplémentaires à certaines périodes ce qui est en contradiction totale avec le critère d'étalement de la charge. C'est pourquoi nous avons supprimé ce critère de toutes les expérimentations présentées dans ce papier, en posant $\alpha = \epsilon$, le plus petit possible.

Les résultats lorsqu'on permet les négociations, nous permettent de vérifier l'intérêt économique des négociations. On peut observer, selon les instances, une réduction comprise entre 1% et 10% sur le coût de personnel et d'utilisation d'heures supplémentaires. Par ailleurs, les négociations induisent également une diminution de la charge de travail moyenne pour tous les problèmes étudiés et aussi une réduction des écarts de la charge par rapport à la moyenne et donc un étalement de la charge. Ce critère non pris en compte dans le modèle est donc amélioré, selon les instances, entre 5% et 30%.

L'introduction des heures supplémentaires pour le personnel permanent a l'effet attendu, on constate une réduction jusqu'à 10% du coût de personnel embauché lorsqu'on les autorise, tout en obtenant un gain total sur les coûts de personnel. Par ailleurs, l'exigence de la présence d'un taux de présence minimal d'expert par opération et par période, provoque l'effet attendu d'augmentation du coût de personnel.

Dans nos générations d'exemples, le personnel intérimaire est supposé de manière réaliste moins efficace que le personnel permanent. Le coût de personnel augmente avec l'augmentation de l'inefficacité des intérimaires.

Le tableau 2 présente les résultats pour les trois groupes de données C1, C2 et C3. Pour les colonnes 4 à 9, si on note $VAL_{i,u}$ la valeur du critère correspondant pour l'instance i et l'un des

Tableau 2. Tableau de Résultats

1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1	0	o	0.11	24.7	17.3	0.92	0.92	1.08
		n	0.11	24.5	19.9	1.15	1.38	***
	1	o	0.09	23	12.7	0.41	0.41	2.21
		n	0.10	13.7	12	0.63	0.86	***
C2	2	o	0.10	11.6	8.29	0	0	1.69
		n	0.12	18.1	6.72	0.22	0.45	***
C3	0	o	0.10	22.8	33.6	2.91	2.96	110
		n	0.09	24.7	30	3	3.29	***
	1	o	0.46	11.1	12.6	1.1	1.1	70.8
		n	0.44	12.3	12.5	1.21	1.5	***
C3	2	o	5.49	11.9	3.92	0	0.02	11.6
		n	0.76	5.89	6.15	0.1	0.4	***
C3	0	o	0.04	20.6	18.3	0.01	0.01	154
		n	0.01	20.4	18.7	0.34	0.74	***
	1	o	0.09	1.22	9.32	0.007	0.02	103
		n	0.08	13.1	5.56	0.33	0.73	***
C3	2	o	0.09	6.35	9.88	0	0.01	14.7
		n	0.06	14.8	8.38	0.33	0.73	***
1	2	3	10	11	12			
C1	0	o	100	***	***			
		n	100	***	***			
	1	o	88.1	12	***			
		n	87.2	12.9	***			
C2	2	o	84.6	9.61	5.81			
		n	86.4	9.06	4.54			
	0	o	100	***	***			
		n	100	***	***			
C2	1	o	85.6	14.4	***			
		n	85.9	14.1	***			
	2	o	82.8	10.1	7.14			
		n	81.8	11.3	6.87			
C3	0	o	100	***	***			
		n	100	***	***			
	1	o	96.9	3.10	***			
		n	97.9	2.11	***			
C3	2	o	97.3	2.75	0			
		n	96.8	4.20	0			

6 modes de gestion u associés à chacune des configurations et $MVAL_i$ le minimum sur u des $VAL_{i,u}$. La valeur dans le tableau 2 est le pourcentage moyen des écarts relatifs pour tous les i entre $VAL_{i,u}$ et $MVAL_i$. Les critères retenus sont : la charge moyenne (4), la plus grande valeur de la charge (5), les écarts à la moyenne de charge (6), le coût total de personnel (7), le coût des personnels intérimaires (8) et le coût des heures supplémentaires (9). Les colonnes 10, 11 et 12 donnent la moyenne des pourcentages des livraisons qui sont livrées avec 0, 1 ou 2 périodes d'avance ou de retard respectivement.

De manière globale, la charge moyenne (4) dépend peu des modes choisis, les variations faibles correspondent à des utilisations différentes des catégories de personnel ayant des efficacités différentes. La plus grande valeur de la charge (5) et les écarts à la moyenne de charge (6) diminuent naturellement avec l'amplitude autorisée des négociations. Le coût total de frais de personnel baisse légèrement avec les négociations. Les avances/retards sont utilisés de manière très limitée.

5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons proposé un modèle de programmation linéaire incluant un grand nombre de contraintes réalistes pour la planification des charges dans les plateformes logistiques. Les expériences ont montré l'intérêt réel d'autoriser, même de manière limitée, des variations négociées sur les dates de livraisons en amont et en aval de la plateforme. Elles ont également permis de comparer différentes hypothèses sur les contraintes liées à l'utilisation du personnel.

Ce modèle constitue un outil de décision efficace pour les gestionnaires des plateformes logistiques qui peuvent comparer différents agencements et organisations du travail pour leurs plateformes. Nous n'avons pas pu comparer les différents agencements dans ce papier car il nous manque la connaissance permettant de générer des durées opératoires réalistes pour les différentes configurations associées à la même plateforme et à la même charge.

Plusieurs extensions peuvent être apportées à notre modèle. La négociation simultanée non seulement des dates des livraisons mais aussi des quantités reçues ou livrées est une possibilité intéressante. Nous avons proposé dans [Carrera et al., 2008] de modifier les dates et les quantités sur un ensemble prédéfini de livraisons et sur des modèles simplifiés en ce qui concerne la gestion du personnel ; cela induisait des coûts d'avance retard sur le cumul des quantités reçues et livrées. Une autre idée est de permettre la flexibilité sur le nombre de livraisons en livrant certains produits en plusieurs fois et en tenant compte dans la fonction coût des avances retards sur les quantités livrées ainsi que des coûts de livraisons.

Pour l'instant notre modèle fournit un intervalle de temps pour chaque livraison. Pour de nombreuses plateformes logistiques, il existe chaque jour des créneaux où on préfère recevoir des livraisons et d'autres créneaux pour les expéditions. Il est très facile de modifier notre modèle afin d'associer à une livraison une réunion d'intervalles de temps pour une granularité (choix de Δ) adéquate. Dans ce cas, on considère qu'on ne peut livrer que sur ces créneaux et que le coût d'avance retard est associé au créneau choisi.

En ce qui concerne le personnel, nous avons supposé que les emplois du temps des personnels permanents avaient été planifiés avant l'utilisation de notre modèle. On pourrait imaginer de compléter le modèle pour lui permettre de planifier le personnel permanent et de rendre contiguë les périodes d'embauche de personnel intérimaire. Cela donnerait un modèle tellement compliqué qu'il serait inutilisable. Notre opinion est qu'une méthode par décomposition itérative où on améliore en alternance la planification de la charge et les emplois du temps du personnel serait beaucoup plus efficace.

Dans nos expérimentations de configurations, nous avons toujours considéré un seul quai de déchargement et un seul quai de chargement, ceci implique qu'une seule zone de la plateforme représente les camions des fournisseurs et une autre les camions des clients, de même une seule opération représente toutes les opérations de déchargement et une autre les opérations de chargement. Ainsi, lorsque deux livraisons fournisseurs arrivent au même temps, en termes de quantités et de travail, notre modèle considère qu'il y a un seul camion avec les produits des deux livraisons à l'intérieur et qu'il n'y a qu'une seule activité de déchargement. Si nous avions voulu utiliser plusieurs quais de chargement et de déchargement, nous aurions dû ajouter des variables de décision et des contraintes pour affecter les livraisons à des quais par le biais d'opérations de chargement et décharge-

ment associé à chaque quai. A notre niveau de granularité nous supposons que plusieurs camions peuvent être déchargés successivement sur un même quai pendant une période.

En conclusion, il existe de nombreuses pistes d'extension pour la partie planification. En parallèle, nous nous intéressons à quelques problèmes d'ordonnancements associés au lissage de charge des plateformes logistiques.

6 REFERENCES

- Bartholdi, J.J., Gue, K.R., (2004) The best shape for a crossdock. *Transportation Science*, 38, pp. 235-244.
- Belvaux, G., Wolsey, L.A., (2001) Modelling practical lot-sizing problems as mixed integer programs. *Management Science*, 47, pp. 993-1007.
- Billington, P.J., McClain, J.O. and Thomas L.J., (1986) Heuristics for multilevel lot-sizing with a bottleneck. *Management Science*, 32(8), pp. 989-1006.
- Billionnet, A., (1999) Integer programming to schedule a hierarchical workforce with variable demands. *European Journal of Operational Research*, 114, pp. 105-114.
- Carrera, S., Chami, K., Guimaraes, R., Portmann, M.C., Ramdane Cherif, W., (2008) Negotiation models for logistic platform planning and scheduling. *Eleventh International Workshop on Project Management and Scheduling*, Turquie, 43-46.
- Chami, K., (2007) Lissage de charge dans une plateforme logistique. *Mémoire bibliographique et mémoire de master recherche CII*, Metz.
- Chen, P., Guo, Y., Lim A., Rodrigues, B., (2006) Multiple cross-docks with inventory and time windows. *Computers & Operations Research*, 33, pp. 43-63.
- Franchini, L., Caillaud, E., Nguyen, P., Lacoste, G., (2001) Workload control of human resources to improve production management. *International Journal of Production Research*, 39(7), pp. 1385-1403.
- Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F., (2007) Research on warehouse operation : A comprehensive review, *European Journal of Operational Research*, 177(1), pp. 1-21.
- Heragu, S.S., Du L., Mantel, R.J., Shuur, P.C., (2005) Mathematical model for warehouse design and production allocation. *International Journal of Production Research*, 43, pp. 327-338.
- Mocellin, F., (2006) Gestion des entrepôts et plates-formes. *Paris, Dunod*.
- Ouzizi, L., (2005) Planification par négociation dans un système de décision semi-distribué pour une entreprise en réseau. *Thèse de l'Université de Metz*.
- Petersen, C.G., Aase, G., (2004) A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92, pp. 11-19.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G.J., Mantel, R.J., Zijm, W.H.M., (2000) Warehouse design and control : Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122, pp. 515-533.
- Seçkiner, S. U., Gökçen, H., Kurt, M., (2007) An integer programming model for hierarchical workforce scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 183, pp. 694-699.
- Van Den Berg, J.P., Zijm, W.H.M., (1999) Models for warehouse management : classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59, pp. 519-528.
- Van Den Berg, J.P., (2007) Integral Warehouse Management. *Management Outlook*.